

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»

Физический факультет

---

УТВЕРЖДАЮ:  
декан \_\_\_\_\_ Малышев А.И.  
« 30 » \_\_\_\_\_ августа 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**«Теория и расчет твердотельных  
активных элементов»**

Уровень подготовки

аспирантура

Направление подготовки

11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Направленность образовательной программы

05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и  
наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Квалификация

Исследователь, преподаватель-исследователь

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2021 год

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Теория и расчет твердотельных активных элементов» относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору и изучается на 2 году обучения в 3 семестре.

### Целями освоения дисциплины являются:

Целями освоения дисциплины " Теория и расчёт твердотельных активных элементов " являются следующие.

- Изучение физических основ теории цепей, принципов построения составных схем из отдельных элементов, способов анализа активности, пассивности, устойчивости, абсолютной устойчивости квазилинейных аналоговых устройств.
- Формирование у студентов умений и навыков, необходимых для оптимизации схмотехники и конструкции приборов нанoeлектроники.
- Получение углубленного профессионального образования по схмотехнике электронной компонентной базы, обеспечивающего возможность быстрого и самостоятельного приобретения новых знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области микро- и нанoeлектроники.
- Выработка систематического подхода к анализу работы твердотельных устройств в линейном или квазилинейном режиме, характерном для аналоговой микросхмотехники.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<b>ОПК-1</b> владение методологией и теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	<i>З1 Знать</i> основные методы исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники. <i>У1 Уметь</i> делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники. <i>В1 Владеть</i> практическими навыками по применению современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.
<b>ПК-1</b> Способность понимать, критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и	<i>З1 Знать</i> современные тенденции развития твердотельных активных элементов электроники. <i>У1 Уметь</i> находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу. <i>В1 Владеть</i> методами поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроники,

наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах	приборов на квантовых эффектах.
<b>ПК-4</b> Способность разрабатывать новые модели физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах	<p><b>Знать:</b> Знать физические явления, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.</p> <p><b>Уметь:</b> Уметь делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками разрабатывать новые модели физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.</p>

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единиц, всего 108 часов, из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 2 час - мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа - мероприятия промежуточной аттестации), 34 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очное					
1. Введение		2				2
2. Применение преобразования Лапласа для анализа линейных схем		2				2
3. Многополюсники		2				4

4. Преобразование трехполюсников		2				4
5. Свойства трехполюсников		2				5
6. Примеры важных трехполюсников		2				4
7. Общие свойства электрических цепей		4				8
8. Обратная связь		6				2
9. Основные классы линейных интегральных схем		4				3
ВСЕГО		36				70
В т.ч.текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация - экзамен						

### Содержание дисциплины

<b>№ п/п</b>	<b>Наименован ие раздела дисциплины</b>	<b>Содержание раздела</b>	<b>Форма проведени я занятия</b>	<b>Форма текущего контроля*</b>
1.	Введение	Цели и задачи курса. Общий подход в анализе твердотельных схем и электрических цепей. Условие квазистационарности. Выделение сосредоточенных элементов: емкость, индуктивность, резистор.	лекции	экзамен
2.	Применение преобразован ия Лапласа для анализа линейных	Обобщение законов Ома и Кирхгофа	лекции	экзамен

	схем			
3.	Многополюсники	Соотношение между числом полюсов и уравнений для многополюсника. Линеаризация двух- и трехполюсников. Матрицы линейного трехполюсника. Системы параметров трехполюсника. Эквивалентные схемы.	лекции	экзамен
4.	Преобразование трехполюсников	Поворот трехполюсника. Примеры для транзисторов и ламп. Соединение трехполюсников. Частный случай - соединение двух- и трехполюсников. Отражатель тока в операционных усилителях.	лекции	экзамен
5.	Свойства трехполюсников	Соотношение между входными и выходными величинами. Коэффициенты усиления по току и напряжению. Входные и выходные сопротивления и проводимости. Физический смысл полных сопротивлений и проводимостей двухполюсника и элементов матрицы трехполюсника. Связь между собственными частотами и корнями характеристических уравнений двух- и трехполюсников. Характеристические полиномы и их связь с элементами матриц трехполюсника. Коэффициент усиления по мощности трехполюсника. Максимальный коэффициент усиления трехполюсника.	лекции	экзамен
6.	Примеры важных трехполюсников	Электронная лампа и полевой транзистор как линейный усилитель. Биполярный транзистор как линейный усилитель. Операционный усилитель.	лекции	экзамен
7.	Общие свойства электрических цепей	Обратимость трехполюсников. Обратимость и соединение трехполюсников. Пример идеального гиратора. Устойчивость. Определение устойчивости. Критерий Рауса-Гурвица (без вывода). Примеры. Пассивность и активность. Определение. Критерий для двухполюсника. Теорема Штурма. Критерий пассивности трехполюсника. Коэффициент усиления по мощности и активности. Отрицательное	лекции	экзамен

		сопротивление - активный двухполюсник. Абсолютная устойчивость. Определение. Критерий для двух- и трехполюсников. Соотношение между обратимостью и пассивностью; пассивностью, устойчивостью и абсолютной устойчивостью.		
8.	Обратная связь	Определение элементов обратной связи в трехполюснике. Виды обратной связи. Нейтрализация внутренней обратной связи.	лекции	экзамен
9.	Основные классы линейных интегральных схем	Особенности планарных биполярных структур для линейных интегральных схем. Примеры типичных интегральных структур. Полевые и униполярные транзисторы в интегральных схемах.	лекции	экзамен

#### 4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проводят в лекционной форме а также в форме самостоятельной работы аспирантов. На лекциях аспиранты знакомятся с тем, каким образом с применением матричного аппарата и операционного исчисления производится анализ и синтез линейных и квазилинейных твердотельных схем со строгим определением коэффициентов передачи по току, напряжению и мощности, устойчивости-пассивности, обратимости-необратимости, абсолютной устойчивости, обратной связи в электрических цепях. Самостоятельно они учатся применять операционное и матричное исчисление для анализа цепей, составлять эквивалентные схемы, проводить анализ электрических цепей на предмет устойчивости, абсолютной устойчивости, пассивности и активности, обратимости и необратимости, выделять параметры транзисторов и активных двухполюсников определяющих максимальные усилительные свойства.

#### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа аспирантов выполняется в следующих видах: в читальном зале библиотеки, в учебных лабораториях, компьютерных классах и в домашних условиях, с доступом к лабораторному оборудованию, приборам, базам данных, к ресурсам Интернет.

Самостоятельная работа аспирантов обеспечивается учебно-методическими пособиями, учебной и научной литературой.

*Осуществляется подготовка к экзамену по вопросам*

1. Общий подход в анализе твердотельных схем и электрических цепей. Условие квазистационарности. Выделение сосредоточенных элементов: емкость, индуктивность, резистор.
2. Применение преобразования Лапласа для анализа линейных схем. Обобщение законов Ома и Кирхгофа. Многополюсники. Соотношение между числом полюсов и уравнений для многополюсника. Линеаризация двух- и трехполюсников.

3. Матрицы линейного трехполюсника. Системы параметров трехполюсника. Эквивалентные схемы.
4. Преобразование трехполюсников. Поворот трехполюсника. Примеры для транзисторов и ламп.
5. Соединение трехполюсников. Частный случай - соединение двух- и трехполюсников. Отражатель тока в операционных усилителях.
6. Свойства трехполюсников. Соотношение между входными и выходными величинами. Коэффициенты усиления по току и напряжению. Входные и выходные сопротивления и проводимости.
7. Физический смысл полных сопротивлений и проводимостей двухполюсника и элементов матрицы трехполюсника.
8. Связь между собственными частотами и корнями характеристических уравнений двух- и трехполюсников. Характеристические полиномы и их связь с элементами матриц трехполюсника.
9. Коэффициент усиления по мощности трехполюсника. Максимальный коэффициент усиления трехполюсника.
10. Электронная лампа и полевой транзистор как линейный усилитель.
11. Биполярный транзистор как линейный усилитель. Операционный усилитель.
12. Общие свойства электрических цепей. Обратимость трехполюсников. Обратимость и соединение трехполюсников. Пример идеального гиратора.
13. Устойчивость. Определение устойчивости. Критерий Рауса-Гурвица (без вывода). Примеры.
14. Пассивность и активность. Определение. Критерий для двухполюсника. Теорема Штурма.
15. Критерий пассивности трехполюсника. Коэффициент усиления по мощности и активности. Отрицательное сопротивление - активный двухполюсник.
16. Абсолютная устойчивость. Определение. Критерий для двух- и трехполюсников.
17. Соотношение между обратимостью и пассивностью; пассивностью, устойчивостью и абсолютной устойчивостью.
18. Обратная связь. Определение элементов обратной связи в трехполюснике. Виды обратной связи. Нейтрализация внутренней обратной связи.
19. Основные классы линейных интегральных схем. Особенности планарных биполярных структур для линейных интегральных схем. Примеры типичных интегральных структур.
20. Полевые и униполярные транзисторы в интегральных схемах.

#### Вопросы и задачи для контроля

1. Что дает линеаризация соотношений между токами и напряжениями для двух- и трехполюсников, какие ограничения она накладывает на электрические сигналы?
2. Определите линеаризованное соотношение между токами и напряжением для вольт-амперной характеристики идеального диода

$$J = J_0 \cdot [eU/\varphi_T - 1]$$

3. Что дает применение интегрального преобразования Лапласа при анализе твердотельных

элементов, работающих в линейном режиме?

4. Перепишите в изображениях по Лапласу соотношение между током и напряжением для емкости

$$i = C \cdot \frac{de}{dt}$$

5. Что такое эквивалентная схема? Нарисуйте эквивалентную схему биполярного транзистора.

6. Объясните правило поворота трехполюсника - переход от одного общего зажима к другому.

7. Дана низкочастотная матрица полевого транзистора с общим истоком и входным зажимом-затвором

$$[Y]_{\text{и}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ g_{\text{к}} & g_{\text{в}} \end{pmatrix}$$

где  $g_{\text{к}}$  - крутизна,  $g_{\text{в}}$  - выходная проводимость.

8. Найдите матрицу полевого транзистора в схеме с общим стоком и входным зажимом-затвором.

9. Как выражаются максимальный коэффициент передачи по току  $K_{\text{IF}}$  и максимальный коэффициент передачи по напряжению  $K_{\text{VF}}$  через элемент матрицы трехполюсника?

10. Найти  $K_{\text{IF}}$  и  $K_{\text{VF}}$  биполярного транзистора в схеме с общей базой, если его матрица в системе Z-параметров имеет вид

$$\begin{pmatrix} r_{\text{э}} + r_{\text{б}} & r_{\text{б}} \\ r_{\text{б}} + ar_{\text{к}} & r_{\text{б}} + r_{\text{к}} \end{pmatrix}$$

где  $r_{\text{э}}=10 \text{ Ом}$ ,  $r_{\text{б}}=102 \text{ Ом}$ ,  $r_{\text{к}}=106 \text{ Ом}$ ,  $a=0,99$ .

11. Можно ли считать, что максимальный коэффициент усиления по мощности равен произведению максимального коэффициента усиления по напряжению  $K_{\text{VF}}$  на максимальный коэффициент усиления по току  $K_{\text{IF}}$ ?

12. Используя выражение для максимального коэффициента усиления по мощности

$$K_{\text{pmax}} = \frac{|Y_{21}|^2}{G_{11}G_{22}[2+2g_1-g_0-b_{02}-g_{01}]}$$

где  $g_0 = \frac{G_{12}G_{21}-B_{12}B_{21}}{G_{11}G_{22}},$

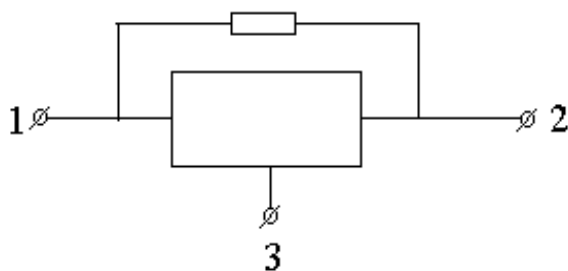
$$b_0 = \frac{G_{12}B_{21}+G_{21}B_{12}}{2G_{11}G_{22}},$$

найти  $K_{\text{pmax}}$  для полевого транзистора, Y-матрица которого имеет вид

$$\begin{vmatrix} G_1 + sC_{\text{зи}} & 0 \\ g_{\text{к}} & g_{\text{в}} \end{vmatrix}$$

13. Объясните, каким образом изменяется матрица трехполюсника при присоединении двухполюсника к входному и выходному зажиму по схеме





14. Запишите, как изменится матрица полевого транзистора

$$[J]_{\text{и}} = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ g_{\text{к}} & g_{\text{в}} \end{vmatrix}$$

если учесть емкость затвор-исток. Какая здесь будет обратная связь, если она появится?

15. Дайте определение активности. Используя один из пунктов критерия пассивности

$$4 \cdot R_{11} \cdot R_{22} - (R_{12} + R_{21})^2 - (X_{12} - X_{21}) \geq 0$$

покажите, что биполярный транзистор, описываемый матрицей в схеме с ОЭ

$$\begin{pmatrix} r_{\text{б}} + r_{\text{э}} & r_{\text{б}} \\ r_{\text{б}} + a r_{\text{к}} & r_{\text{б}} + r_{\text{к}} \end{pmatrix}$$

является активным при  $r_{\text{э}}=10 \text{ Ом}$ ,  $r_{\text{б}}=100 \text{ Ом}$ ,  $a=0,99$ ,  $r_{\text{к}}=1 \text{ МОм}$ .

16. Объясните происхождение активности в диоде Ганна. Покажите, что для двухполюсника с N - образной вольтамперной характеристикой может нарушаться критерий пассивности.

Назовите примеры нелинейных двухполюсников, которые могут быть активными. Нарисуйте эквивалентную схему туннельного диода.

17. Покажите, какие дополнительные элементы эквивалентных схем имеются у биполярных и полевых транзисторов в интегральных схемах.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине включающий:

6.1. *Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования.*

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведено в приложении 1.

### 6.2. Критерии оценок экзамена:

Оценка *отлично* – исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *хорошо* – достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *удовлетворительно* – фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *неудовлетворительно* – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией. Практическая часть курса не выполнена или выполнена не в полном объеме.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

***Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:***

- индивидуальное собеседование,

***Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:***

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

*По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.*

*Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.*

*Типы практических контрольных заданий:*

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задани.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций.

Типовые контрольные задания включают в себя 2 вопроса в каждом экзаменационном билете из обоих списков контрольных вопросов выше в п.5.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания приведены в фонде оценочных средств.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Пиан Л. Теория линейных активных цепей. -М.-Л.: Энергия, 1967

2. Аваев Н.А., Наумов Р.Е., Фролкин В.Г. Основы микроэлектроники, -М.: Радио и связь, 1991

3. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника, -М.: ВШ, 1991

4. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов, -М.: Мир, 1984

б) дополнительная литература:

1. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа, -М.: Наука, 1965

3. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. -М.: Энергия, 1973.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Пакет компьютерных аналитических и графических вычислений для персонального компьютера. Допускается применение сред Wolfram Mathematica или любых иных компьютерных ресурсов аналогичного назначения.
2. Интернет-ресурс справочной и математической литературы со свободным доступом [www.eqworld.ipmnet.ru](http://www.eqworld.ipmnet.ru)

#### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование – комплекс учебного оборудования фирмы Natinal Instruments;
- лицензионное программное обеспечение фирмы Natinal Instruments.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

профессор кафедры физики полупроводников, электроники  
и нанoeлектроники, д.ф.-м.н. профессор \_\_\_\_\_ Е.С. Демидов

Рецензент:

заведующий кафедрой теоретической физики,  
д.ф.-м.н., профессор \_\_\_\_\_ В. А. Бурдов

заведующий кафедрой физики полупроводников, электроники  
и нанoeлектроники, д.ф.-м.н. профессор \_\_\_\_\_ Д.А. Павлов

Программа рекомендована на заседании кафедры физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_

**ОПК-1** владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>З1</b> <u>Знать</u> основные методы исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание основных методов исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники.	В целом успешное знание основных методов исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных методов исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники.	Успешное и систематическое знание основных методов исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники.
<b>У1</b> <u>Уметь</u> делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники.	Сформированное умение делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники.
<b>В1</b> <u>Владеть</u> практическими навыками по применению современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное, но не систематическое применение современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.	Успешное и систематическое применение современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.

**ПК-1** Способность понимать, критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	1	2	3	4	5
31 <u>Знать</u> современные тенденции развития твердотельных активных элементов электроники.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание современных тенденций развития твердотельных активных элементов электроники.	В целом успешное знание современных тенденций развития твердотельных активных элементов электроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание современных тенденций развития твердотельных активных элементов электроники	Успешное и систематическое знание современных тенденций развития твердотельных активных элементов электроники
У1 <u>Уметь</u> находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу.	Сформированное умение находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу.
В1 <u>Владеть</u> методами поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение методов поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но не систематическое применение методов поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методов поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Успешное и систематическое применение методов поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.

**ПК-4** Способность разрабатывать новые модели физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	1	2	3	4	5
<b>Знать:</b> физические явления, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание физических явлений, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное знание физических явлений, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание физических явлений, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.	Успешное и систематическое знание физических явлений, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.
<b>Уметь:</b> делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.	Сформированное умение делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.
<b>Владеть:</b> навыками разрабатывать новые модели физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение новых моделей физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но не систематическое применение новых моделей физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение новых моделей физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Успешное и систематическое применение новых моделей физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.